

УДК 621.793.6

**СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ
С НАНЕСЕННЫМИ КАРБИДНЫМИ СЛОЯМИ**

*канд. техн. наук, доц. А.М. ДОЛГИХ
(Полоцкий государственный университет)*

Исследованы некоторые механические характеристики твердосплавных режущих пластин, подвергнутых химико-термической обработке. В качестве процессов диффузионного насыщения выбраны двухкомпонентные (титанониобирование, хромотитанирование, хромониобирование) и однокомпонентное хромирование. Показано некоторое снижение предела прочности при поперечном изгибе (от 18 до 30 %), ухудшение шероховатости поверхности пластин на 1 – 2 класса (исключение представляет процесс хромирования, после которого шероховатость остается на прежнем уровне), при одновременном повышении микротвердости (с 1530 до 2190 НВ), а также жаростойкости поверхностных слоев. Установлено влияние нанесения карбидных слоев на качество поверхности и механические свойства твердых сплавов.

В процессе химико-термической обработки спеченных твердых сплавов происходит изменение химического состава и структуры поверхностного слоя, возникновение внутренних напряжений, что оказывает определенное влияние на качественные характеристики поверхности, механические и режущие свойства твердых сплавов. Насыщение поверхности твердых сплавов двумя или несколькими элементами одновременно (многокомпонентное насыщение) позволяет в значительно большей мере изменять свойства поверхностного слоя, чем однокомпонентное насыщение, и получать слои с более высокими свойствами.

Экспериментальная часть. Процессы диффузионного насыщения проводили в алюмотермических смесях по раздельному варианту, т.е. с предварительным восстановлением при температуре 800...1100 °С с использованием реактивов классификации «ХЧ», «Ч».

В качестве процессов химико-термической обработки выбраны титанониобирование, хромотитанирование, хромониобирование и хромирование. Перед проведением процессов пластинки твердого сплава обезжиривали и затем укладывали в жаропрочный контейнер с насыщающей смесью. Для герметизации контейнера применяли плавкий затвор, в качестве которого служил борный ангидрид. Регулировка температуры в печи при проведении процесса насыщения осуществлялась автоматически.

После проведения процесса химико-термической обработки визуально оценивалось качество поверхности пластин, на микрошлифах измеряли толщину диффузионного слоя.

На эксплуатационные свойства сплавов с нанесенными карбидными слоями влияют [1, 2]:

- прочность сцепления слоя с материалом подложки;
- способность диффузионного слоя выдерживать статические и динамические нагрузки;
- абсолютное значение и характер распределения остаточных напряжений в слое.

В процессе исследования установлено, что имеется оптимальная толщина диффузионных слоев, равная 3...10 мкм, при которой показатели механических свойств твердого сплава с покрытиями максимальны. Резкое уменьшение значений показателей для карбидных слоев толщиной более 10 мкм объясняется ухудшением прочности сцепления полученных слоев с основой, накоплением напряжений структурного, фазового характера, что приводит к скалыванию слоя. Поэтому диффузионное насыщение проводили по режимам, обеспечивающим получение карбидных слоев оптимальной толщины (3...10 мкм). В качестве объекта исследования были взяты диффузионные слои, полученные при совместном многокомпонентном насыщении титаном и ниобием, хромом и титаном, хромом и ниобием, обладающие наиболее высокими свойствами, в частности микротвердостью. Процессы химико-термической обработки проводили газовым методом в порошках, полученных алюмотермическим восстановлением из окислов соответствующих металлов.

Твердосплавные пластины в условиях реального процесса резания подвергаются воздействию высоких удельных нагрузок (как статических, так и динамических). По этой причине выход их из строя часто происходит в результате механических поломок, именно поэтому механические характеристики твердых сплавов во многом определяют их эксплуатационные свойства.

Одним из наиболее распространенных показателей, используемых при оценке механических и эксплуатационных свойств твердых сплавов, является предел прочности при поперечном изгибе. Это объясняется простотой изготовления образцов и возможностью быстро и просто проводить испытания.

Предел прочности при поперечном изгибе определяли по ГОСТ 20019-74. В качестве образцов для испытания использовали шлифованные штабики размером 5×5×35 мм из твердого сплава ТТ20К9 по ГОСТ 3882-74. Испытания проводили сосредоточенной нагрузкой, приложенной в середине пролета, при скорости нагружения 1 мм/мин.

Предел прочности при поперечном изгибе рассчитывали по формуле:

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{изг}}{W}, \quad (1)$$

где $M_{изг}$ – максимальный изгибающий момент; W – момент сопротивления.

Для образцов прямоугольного сечения при поперечном изгибе имеем:

$$M_{изг} = \frac{F \cdot l}{4}; \quad (2)$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}; \quad (3)$$

$$\sigma_{изг} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (4)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н; l – пролет (расстояние между опорами), мм; b , h – соответственно ширина и высота образца, мм.

Алмазное шлифование образцов осуществляли алмазным кругом по методике, изложенной в ГОСТ 20019-74. На одну точку испытывали пять образцов.

Результаты исследования влияния условий насыщения и типа карбидных слоев на предел прочности при поперечном изгибе твердого сплава ТТ20К9 приведены в таблице 1. Из данных таблицы следует, что предел прочности при поперечном изгибе после химико-термической обработки уменьшается на 20 % и более, что согласуется с результатами работы [3], где говорится об уменьшении предела прочности на изгиб сплавов группы ВК и ТК при нанесении покрытий из карбида титана. Во всех случаях после насыщения при температуре 1200 °С наблюдается большее понижение прочности твердого сплава, чем после насыщения при 1000 °С. Это связано с ростом карбидного слоя и, как следствие, с увеличением толщины хрупкой η-фазы.

Таблица 1

Предел прочности при поперечном изгибе твердого сплава ТТ20К9
с различными карбидными слоями

№ п/п	Вид химико-термической обработки	Режим насыщения, 4 ч					
		t = 1000 °С			t = 1200 °С		
		$\sigma_{изг}$, МПа	$\sigma_{изг}/\sigma_{исх} \cdot 100\%$	f, %	$\sigma_{изг}$, МПа	$\sigma_{изг}/\sigma_{исх} \cdot 100\%$	f, %
1	Исходный сплав (без покрытия)	1611	–	17,2	1611	–	17,2
2	Титанониобирование (TiO ₂ : Nb ₂ O ₅ = 3 : 1)	1329	82,5	3,5	1158	71,9	4,8
3	Хромотитанирование (TiO ₂ : Cr ₂ O ₃ = 1 : 1)	1331	82,6	5,3	958	59,5	5,9
4	Хромотитанирование (TiO ₂ : Cr ₂ O ₃ = 3 : 1)	1333	82,7	6,1	1086	67,4	8,2
5	Хромониобирование (Cr ₂ O ₃ : Nb ₂ O ₅ = 1 : 1)	1041	64,6	3,8	980	60,8	4,4
6	Хромирование	1222	75,9	3,0	1124	69,8	6,9

Определяем разброс прочности для установления надежности работы пластин с различными карбидными слоями. Величину коэффициента вариации рассчитывали по формуле:

$$f = \frac{S}{\sigma_{и\ ср}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где $\sigma_{и\ ср}$ – среднее значение предела прочности на изгиб, МПа; S – среднеквадратичное отклонение значений $\sigma_{и}$.

После химико-термической обработки коэффициент вариации уменьшается. Пластины с нанесенными карбидными слоями характеризуется значительной однородностью свойств, что важно при их использовании в качестве материала режущей части инструмента на автоматических линиях, станках с ЧПУ и станках-автоматах.

На прочностные характеристики твердых сплавов большое влияние оказывает состояние поверхности.

Процесс разрушения металлов и сплавов связан с образованием и распространением трещины [4]. На предел прочности при изгибе основное влияние оказывает состояние поверхности, поскольку именно на поверхности происходит зарождение трещины, дальнейшее распространение которой и является причиной разрушения.

После проведения химико-термической обработки твердых сплавов связующая кобальтовая фаза в поверхностных слоях отсутствует. Под карбидным слоем находится η -фаза, присутствие которой в твердых сплавах снижает их прочность [5]. В работе [2] указывается, что для образцов со сплошным карбидным слоем, хрупкое разрушение начинается именно в карбидном слое, причем трещины располагаются как перпендикулярно к направлению действия растягивающих напряжений, так и вдоль него. Все это говорит о возможных причинах понижения прочности твердых сплавов с нанесенными карбидными слоями.

Влияние нанесения диффузионных слоев на шероховатость поверхности показано в таблице 2.

Таблица 2

Шероховатость поверхности твердых сплавов после химико-термической обработки

№ п/п	Вид насыщения	ВК6		ТТ10К8Б	
		Ra , мкм	Класс шероховатости поверхности	Ra , мкм	Класс шероховатости поверхности
1	Исходный	0,22...0,26	9а – 9б	0,23...0,26	9а – 9б
2	Cr	0,19...0,23	9б – 9в	0,26...0,29	9а
3	Nb	0,66...0,77	7в	0,40...0,45	8б
4	Cr – Ti	0,61...0,62	8а	0,52...0,60	8а
5	Ti – Nb	0,61...0,72	7в – 8а	0,40...0,52	8а – 8б
6	Cr – Nb	0,70...0,80	7в	0,90...0,91	7б

Шероховатость поверхности образцов до и после насыщения оценивали на профилографе-профилометре модели 201 согласно ГОСТ 2789-73. Класс шероховатости устанавливали по величине среднего арифметического отклонения профиля Ra , определяемого на пяти участках испытуемой поверхности. Шероховатость поверхности после нанесения диффузионных слоев на 1...2 класса превышает шероховатость исходной поверхности. Исключением является процесс диффузионного хромирования, после которого шероховатость остается на прежнем уровне и даже уменьшается.

Поверхностную твердость образцов после химико-термической обработки измеряли на приборе Виккерса при нагрузке 100 Н и на приборе Роквелла при нагрузке 600 Н. Результат определяли как среднеарифметическое из 10...15 замеров. Анализ показал: нанесение карбидных слоев повышает твердость образцов при измерении на приборе Виккерса и незначительно снижает твердость по шкале А прибора Роквелла (табл. 3).

Таблица 3

Влияние нанесения диффузионных карбидных слоев на твердость твердых сплавов

№ п/п	Тип слоев	ВК6		ТТ10К8Б	
		HV	HRA	HV	HRA
1	Исходный	1420	88,0	1530	89,0
2	Cr	1850	85,3	1850	86,0
3	Nb	1680	84,1	1850	83,2
4	Cr – Ti	2290	87,6	3200	88,4
5	Ti – Nb	2830	86,9	1850	87,8
6	Cr – Nb	2320	87,8	2190	88,5

В процессе резания металла большая часть механической работы, затраченной на процесс резания, переходит в тепло. Температура в зоне резания оказывает значительное влияние на процессы резания и износа режущего инструмента.

Карбидные слои придают твердосплавному инструменту повышенное сопротивление износу при высоких температурах, уменьшая склонность к схватыванию и улучшая химическую устойчивость, критерием которой является усиление сопротивления окислению.

Жаростойкость образцов с диффузионными слоями и без них определяли весовым методом по ГОСТ 6130-71. Температура испытания составила 800 °С в атмосфере воздуха. Выбор такой температуры испытания объясняется тем, что при резании металла поверхность режущих пластин нагревается именно до такой температуры.

Для моделирования условий реального процесса резания, жаростойкость нанесенных диффузионных покрытий определяли при циклическом нагреве образцов с замером привеса после каждых 20 минут нагрева при суммарном времени воздействия температуры 2 ч. Каждый результат получали как среднюю величину из 4...5 измерений. Величину жаростойкости оценивали по увеличению массы образца, отнесенной к площади его поверхности по формуле:

$$K = \frac{q_1 - q_0}{S_0}, \text{ мг/см}^2, \quad (6)$$

где q_0 q_1 – масса образцов соответственно до и после нагрева; S_0 – площадь поверхности образца до испытания.

Образцы размером 12,5×12,5×4,75 мм. Толщина нанесенных диффузионных слоев составляла 1... 15 мкм. Результаты испытания на жаростойкость образцов из сплава ВК6 и ТТ10К8Б при двухкомпонентном насыщении ($t = 1000$ °С, $\tau = 4$ ч) показали значительное улучшение сопротивления окислению (лучший показатель у твердосплавных пластин, подвергнутых хромотитанированию).

При окислении твердого сплава сечение окисленного образца по плоскости, параллельной исходной поверхности, имеет форму мальтийского креста. Внешний вид такого образца с образуемыми по его краям выходящими углами является типичным признаком беспрепятственного окисления на поверхности раздела металл – окисел [6].

Пористость окалины объясняется летучестью образующегося окисла WO_3 . Карбид вольфрама подвержен окислению в большей степени, чем карбид титана. При совместном насыщении с образованием в диффузионном слое карбидов титана и ниобия кривая жаростойкости имеет плавный вид, что косвенно может служить доказательством образования в слое смеси карбидов.

Различная жаростойкость карбидов может быть объяснена следующим образом. При окислении карбидов наряду с окислением металлов образуются газообразные окислы углерода и азота, которые разрушают окисную пленку. Защитная способность окислов может быть примерно оценена отношением Пиллинга – Бердвардса:

$$a = \frac{M \cdot d}{m \cdot D}, \quad (7)$$

где M – молекулярная масса окисла, получающегося при окислении 1 г-моля соединения; m – молекулярная масса окисленного соединения; D , d – соответственно плотность окисла и соединения.

Соотношение (7) показывает, насколько удельный объем образующегося при взаимодействии с внешней средой окисла больше или меньше удельного объема окисленного соединения. Если защитная способность $a < 1$, пленка окисла образуется не сплошная, что вызывает непрерывное окисление, при $a > 1$ образуется защитный окисный слой, тормозящий доступ кислорода в соединение. При больших значениях a окисный слой получает большие внутренние напряжения, обладает хрупкостью и теряет свои защитные свойства. Наибольшими защитными свойствами обладают окисные слои, для которых a несколько больше 1.

Значения критерия Пиллинга – Бердвардса для некоторых карбидов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Значения критерия Пиллинга – Бердвардса

Карбиды	TiC	ZrC	NbC	TaC	Cr ₃ C ₂	Mo ₂ C	WC	VC
Отношение Пиллинга – Бердвардса	1,53	1,42	2,22	1,91	1,17	3,56	2,72	3,45
Температура активного окисления, °С	1100...1200	1100...1200	900...1000	900...1000	1100...1200	500...800	500...800	800...900

При окислении карбидов молибдена и вольфрама стойкость против окисления снижается за счет высокой летучести окислов этих металлов, что приводит к дополнительному разрыхлению окисного слоя. Лучшей жаростойкостью обладают твердые сплавы с диффузионными слоями из карбида хрома, что согласуется с данными таблицы 4.

При нагревании твердых сплавов с карбидными слоями большое влияние на свойства слоя оказывает близость коэффициентов термического расширения материалов нанесенного диффузионного слоя и подложки. При термодиффузионном насыщении вследствие диффузии химических элементов из слоя в подложку, адгезия слоя с основой выше. Поэтому вспучивания и отслаивания карбидных слоев не происходит.

Выводы:

Установлено влияние нанесения карбидных слоев на качество поверхности и механические свойства твердых сплавов. Выявлено, что шероховатость поверхности увеличивается, за исключением процесса диффузионного хромирования, после которого шероховатость остается на прежнем уровне и даже уменьшается.

Предел прочности при поперечном изгибе уменьшается.

После химико-термической обработки твердых сплавов повышается их жаростойкость. Лучшей жаростойкостью обладают твердые сплавы с нанесенными слоями из карбида хрома, что согласуется с данными, полученными расчетом по критерию Пиллинга – Бердваса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Похмурский, В.И. Влияние диффузионных покрытий на прочностные свойства сталей / В.И. Похмурский // Защитные покрытия на металлах. – 1970. – № 3. – С. 191 – 200.
2. Похмурский, В.И. Некоторые аспекты прочности и пластичности сталей, подвергнутых диффузионному насыщению / В.И. Похмурский // Защитные покрытия на металлах. – 1972. – № 6. – С. 151 – 156.
3. Брохин, А.И. Некоторые физико-механические свойства твердых сплавов с износостойкими покрытиями из карбида титана / А.И. Брохин, В.И. Туманов // Твердые сплавы и тугоплавкие металлы // Металлургия. – 1976. – № 16. – С. 136 – 142.
4. Берштейн, М.Л. Структура и механические свойства металлов / М.Л. Берштейн. – М.: Металлургия, 1970. – 472 с.
5. Креймер, Г.С. Прочность твердых сплавов / Г.С. Креймер. – М.: Металлургия, 1971. – 248 с.
6. Кубашевский, О.В. Окисление металлов и сплавов / О.В. Кубашевский, В.С. Гопкинс. – М.: Металлургия, 1965. – 428 с.

Поступила 27.05.2009